

PRODUCTION SCHEDULING SUBSYSTEM FOR MES

Ladislav Tylich

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xtylic02@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Václav Kaczmarczyk

E-mail: kaczmarczyk@feec.vutbr.cz

Abstract: This paper focuses on production scheduling for concrete application of automatic bartender controlled by robotic arm. It creates order of tasks for robot to satisfy all drink orders. It also aims to bring new ideas to speed up the whole process.

Keywords: JobShop, Scheduling, Manufacturing Execution Systems, MES

1 ÚVOD

V dnešní době je stále více činností nahrazovaných robotem, ať už se jedná o prostředí průmyslových hal nebo běžných domácností. Přestože má robot robustní řízení, není to dostačující, pokud mu nadřazená aplikace nepodává instrukce ve správném pořadí. Proto se na úrovni výrobního systému pro řízení MES (*Manufacturing Execution System*) používají plánovací moduly, které zajišťují optimální posloupnost příkazů pro maximální účinnost robota a minimalizaci časových prostředků.

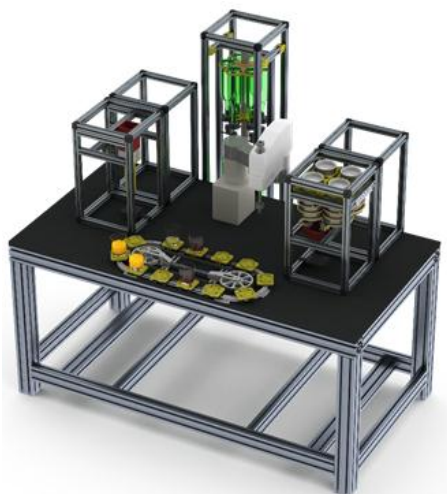
Předmětem optimalizační úlohy je testbed vznikající na Ústavu automatizace a měřicí techniky, který slouží pro návrh a ověřování metod řízení výrobních procesů. Dále je na něm možné demonstrovat možnosti, které do výrobních podniků přináší Průmysl 4.0. Prakticky se jedná o stůl na přípravu míchaných nápojů. Mechanické provedení je znázorněno na Obrázku 1 – testbed se skládá z pěti autonomních buněk: zásobníku alkoholických, zásobníku nealkoholických nápojů, drtiče ledu, míchače nápojů (shaker) a buňky zásobníku sklenic. Dále nelze opomenout dopravníkový pás pro hotové výrobky a robotický manipulátor SCARA. Plocha pod stolem je určena pro podpůrná řídicí zařízení a IT technologie [2]. Podobný projekt byl na podzim loňského roku úspěšně realizován v prostorách CIIRC ČVUT v Praze [5].

Součástí projektu by také měla být možnost navrhovat a provozovat systém pro řízení výroby (MES). Úkolem MESu je kromě zisku a vyhodnocení relevantních dat ([2]) také mimo jiné přidělování zdrojů a modul pro operativní plánování výroby [4], který je předmětem této práce.

Řešení spočívá v aplikaci lineárního programování. Na tuto úlohu lze přímo aplikovat ukázkový příklad *Rozvrh práce* (anglicky *Job shop scheduling*). Tato aplikace lineárního programování je zaměřena na vykonávání mnoha úloh na více zařízeních. Každá úloha má několik úkolů (operací), přičemž každý je potřeba provést na určitém stanovišti (resp. zařízení) a je nutné dodržet jejich sekvenci [1].

2 ŘEŠENÍ PROBLÉMU

Úlohu demonstruje objednávka a úkoly reprezentují operace na jednotlivých stanovištích přípravy nápoje. Známé parametry pro řešení rozvrhu jsou minimální časy strávené na jednotlivých stanovištích. Kritickým prvkem je samotný robotický manipulátor, jelikož zajišťuje přemísťování mezi stanovišti a tvoří tedy každý lichý úkol při přípravě nápoje (Obrázek 2).



Obrázek 1: Současný návrh mechanické části testbedu [2].

Délka trvání každé operace při přípravě drinku symbolizuje časový slot, tedy čas, který je potřeba k dokončení úkolu. Cílem plánování bude optimální nalezení příslušného slotu na každém stanovišti pro pevný počet objednávek nápojů.

Pro nalezení optimálního řešení je využit solver CPLEX v rámci IBM ILOG CPLEX Optimization Studia 12.8, kde se pro definici problému používá jazyk OPL (*Optimization Programming Language*) [3]. Tento nástroj umožňuje definovat zvlášť model a data. V principu se definice úlohy skládá z objektivní funkce, rozhodovacích proměnných, známých parametrů (časy na stanovištích) a omezení. Rozhodovacími proměnnými (neznámé problému) jsou konkrétní intervaly jednotlivých úkolů (tedy startovní čas a konečný čas). Objektivní funkcí (1), která definuje optimalizační úlohu je minimalizace času ukončení posledního časového slotu v rámci jednotlivých úloh (čas přesunu posledního drinku na výdejní pás) vynásobený prioritou (čím vyšší priorita, tím je drink dříve připraven). Hlavními úkoly omezení jsou: zamezení překrývání jednotlivých časových slotů v rámci jednotlivých stanovišť (shaker může míchat jen jeden nápoj) (2), zajištění vzájemné návaznosti jednotlivých operací v rámci každého úkolu (nejdříve musí skončit míchání, pak se může přidat led) (3), a určení řešitelnosti problému (4), (5).

Matematický rozbor úlohy poskytuje následující vztahy:

$$\text{Objektivní funkce: } \minimize \max_{j \in J} p_j \cdot c_{jl} \quad (1)$$

$$\text{Omezení: } s_{i'j'm} - c_{ijm} \geq 0 \cup s_{ijm} - c_{i'j'm} \geq 0 \forall i \in J - \{i'\}, \forall j \in O_i - \{i'\}, m \in M \quad (2)$$

$$s_{ij} \geq c_{i-1j} \forall i \in J, \forall j \in O_i \quad (3)$$

$$c_{ij} \geq s_{ij} + t_{ij} \forall i \in J, \forall j \in O_i \quad (4)$$

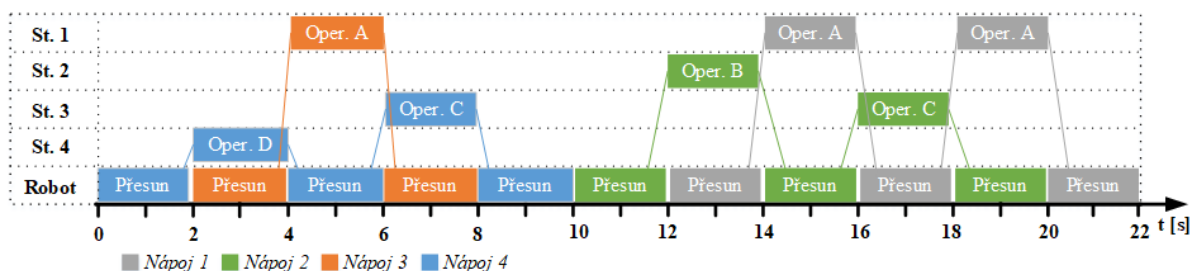
$$c_{ij}, s_{ij}, t_{ij} \geq 0 \forall i \in J, \forall j \in O_i \quad (5)$$

kde p_j je priorita úkolu, J je množina úloh, M je množina stanovišť a O_i je množina operací odpovídající úloze i , s_{ij} a c_{ij} jsou začátek a konec časového slotu $\langle i, j \rangle$ a c_{jl} je konec posledního časového slotu v rámci úlohy j , t_{ij} je délka slotu (známý parametr).

Při demonstračním spuštění byly pro přehlednost zadány čtyři nápoje, přičemž jejich priorita byla nastavena od posledního k prvnímu (nejnižší). Výsledný graf (tzv. Ganttův diagram) pro přípravu čtyř drinků je na Obrázku 3.



Obrázek 2: Diagram přípravy drinku.



Obrázek 3: Ganttův diagram pro ukázkový příklad.

Sloupec na levé straně diagramu označuje stanoviště a buňky jsou časové sloty. Výsledkem optimalizační funkce jsou intervaly jednotlivých úkolů v rámci úlohy. Čas dokončení poslední operace je 22 s od začátku vykonávání prvního úkolu. Z Obrázku 3 je zřejmé dodržení priorit, jelikož první objednávka byla dokončena poslední, což svědčí o správný postup při definici problému. Další výsledné vlastnosti z příkladu jsou v prvním sloupci Tabulka 1.

Tabulka 1: Zhodnocení optimalizace demonstračního systému pro výrobu nápojů.

Počet objednaných nápojů	4		10		100	
Množství operací na nápoj	5	9	5	9	5	9
Časová úspora [%]	54	47	40	40	40	44
Využití robota [%]	100	100	97	94	99	>99
Doba výpočtu [s]	<1	<1	<1	<1	6	8

3 ZÁVĚR

Řešení problému ukazuje optimální rozvrh pracovních úkolů při výrobě drinků v rámci samočinného projektu Barman a nesporné výhody optimalizace jako takové. Například pokud by úkoly byly zpracovávány postupně bez optimalizace (výroba jednoho drinku po druhém), poslední úkol by se dokončil po 50 s, což ve výsledku znamená přes 50 % více času pouze na čtyřech objednávkách. Pro jiné konfigurace zadání zobrazuje výsledky Tabulka 1. Stejný plánovací postup, jako byl použit při řešení problému projektu Barman lze aplikovat na libovolné jiné úlohy podobného charakteru, případně v průmyslu u duplicitních linek, kde má robot obsluhovat jedno stanoviště v rámci více linek. Tato úloha demonstruje využití dat jak ze systémů řízení (doba trvání operací), tak z nadřazených systémů (počet objednávek a jejich detailní informace). To dokazuje integraci tohoto plánovacího modulu v průmyslové hierarchii do systému pro řízení výroby MES.

REFERENCE

- [1] The Job Shop Problem [online]. Google Optimization Tools, 2017 [cit. 2018-02-11]. Dostupné z: https://developers.google.com/optimization/scheduling/job_shop
- [2] KACZMARCZYK, Václav, Ondřej BAŠTÁN, Zdeněk BRADÁČ a Jakub ARM. *Industry 4.0 Testbed (Self-acting barman): principles and design* (doposud nevydaný).
- [3] ILOG CPLEX Optimization Studio: IBM [online]. [cit. 2018-03-02]. Dostupné z: <https://www.ibm.com/products/ilog-cplex-optimization-studio>
- [4] Štrublíková, I. MES systémy ve strojírenství. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 91 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Simeon Simeonov, CSc
- [5] HLOSKA, Jiří. Národní centrum Průmyslu 4.0: éra průmyslu 4.0 v ČR byla oficiálně zahájena. *Automa*. 2017, 2017(8-9), 2.